



Holo

Science

Desbloqueando capacidades de la naturaleza: el uso de hongos para la producción de nanopartículas

Unlocking nature's capabilities: using fungi to produce nanoparticles

Edwis Reinhold García Villavicencio^{1*}
María Guadalupe González Pedroza¹
Cristina Burrola Aguilar²

¹Laboratorio de Bionanotecnología, Facultad de Ciencias, UAEMex, Estado de México, México.

²Laboratorio de Micología, Centro de Investigación en Recursos Bioticos, UAEMex, Estado de México, México.

*Autor para la correspondencia:
egarciav190@alumno.uaemex.mx

Resumen

La síntesis de nanopartículas mediante hongos ofrece un enfoque sostenible y versátil en nanotecnología. A través de métodos intrínsecos y extrínsecos, los hongos pueden generar nanopartículas con diversas aplicaciones, desde la medicina hasta la remediación ambiental. Técnicas como la espectroscopía UV-Vis y la difracción de rayos X son esenciales para confirmar la síntesis. Aunque esta tecnología es prometedora, enfrenta desafíos en cuanto a la reproducibilidad, escalabilidad y comprensión de su impacto ecológico, lo que requiere un enfoque equilibrado para su implementación en tecnologías sostenibles.

Palabras clave: Compuestos orgánicos, actividad biológica, biosíntesis.

Summary

Nanoparticle synthesis using fungi offers a sustainable and versatile approach in nanotechnology. Through intrinsic and extrinsic methods, fungi can generate nanoparticles with diverse applications, from medicine to environmental remediation. Techniques such as UV-Vis spectroscopy and X-ray diffraction are essential to confirm the synthesis. Although this technology is promising, it faces challenges in reproducibility, scalability, and understanding its ecological impact, which requires a balanced approach for its implementation in sustainable technologies.

Keywords: Organic compounds, biological activity, biosynthesis.

La nanotecnología, un campo de vanguardia que explora materiales y aplicaciones a nanoescala, ha impulsado a los investigadores a una búsqueda continua de métodos innovadores y sostenibles de síntesis de nanopartículas. Estas nanopartículas son partículas ultrafinas que poseen dimensiones en el rango de 1 a 100 nanómetros y exhiben propiedades físicas, químicas y biológicas únicas, que las hacen valiosas en una amplia gama de aplicaciones, desde la medicina hasta la electrónica y la remediación ambiental. En este ámbito dinámico, una vía prometedora implica la integración de hongos en sistemas novedosos. La versatilidad de los hongos les permite adaptarse a diversos entornos y responder a estímulos como cambios en la temperatura, pH o la presencia de metales pesados, que impulsan la producción de nanopartículas de manera natural. Esto proporciona una plataforma única para explorar enfoques ecológicos y sostenibles para la producción de nanopartículas [1]. Además, en la Figura 1 se puede observar una pequeña parte del recurso biológico de los hongos cada uno con su propia riqueza

bioquímica para la generación de nanopartículas con diversas composiciones y propiedades. Por ejemplo, algunos hongos pueden ser utilizados para sintetizar nanopartículas de plata con propiedades antimicrobianas, nanopartículas de oro con propiedades ópticas únicas para aplicaciones en biomedicina, o nanopartículas de óxido de zinc con capacidades fotocatalíticas para la degradación de contaminantes. Estas variaciones en la composición y las propiedades permiten adaptar las nanopartículas para aplicaciones específicas en campos como la medicina, la electrónica y la remediación ambiental. Esto último debido a la capacidad de los hongos para sintetizar nanopartículas con características especializadas en función de las condiciones del entorno y los compuestos bioquímicos que producen. Los hongos pueden ser cultivados en diferentes condiciones ambientales o suplementados con diversos precursores metálicos, lo que influye en la composición química, el tamaño, la forma y las propiedades de las nanopartículas resultantes.

La síntesis biológica de nanopartículas utilizando hongos, que se basa en la capacidad natural de estos organismos para reducir iones metálicos y formar nanopartículas, aprovecha las propiedades únicas de los hongos

y se alinea con el creciente énfasis en la interacción ecológica. Los métodos tradicionales de síntesis de nanopartículas a menudo implican productos químicos agresivos y procesos que consumen energía de manera excesiva, lo que contribuye a la degradación ambiental [2]. Aprovechando las capacidades de los hongos, se busca avanzar hacia una ruta de síntesis más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, reduciendo la huella ecológica asociada a la producción de nanopartículas. En los métodos de síntesis tradicionales, se utilizan reactivos químicos tóxicos y altas temperaturas o presiones para producir nanopartículas, lo que genera residuos peligrosos y un consumo energético elevado. En contraste, la síntesis biológica con hongos se puede llevar a cabo a temperatura ambiente y en condiciones acuosas suaves, donde los hongos secretan enzimas y metabolitos que reducen iones metálicos y estabilizan las nanopartículas de manera natural. La integración de hongos en la metodología de síntesis de nanopartículas representa una frontera prometedora en la nanotecnología, con el potencial de revolucionar el campo a través de prácticas ambientalmente conscientes y diversas aplicaciones.

La síntesis biogénica de nanopartículas empleando hongos se ha convertido en un área de interés, ya que las nanoestructuras obtenidas muestran un alto grado de biocompatibilidad además de un bajo costo de síntesis. Este proceso se puede realizar de manera intracelular o extracelular, como se muestra en la Figura 2. En la síntesis intracelular, las nanopartículas se forman dentro de la estructura celular del hongo, mientras que, en la síntesis extracelular, los extractos de hongos se utilizan para producir



Figura 1. Herbario del laboratorio de bionanotecnología de la Facultad de Ciencias UAEMéx. Se observan ejemplares deshidratados de especies de diversos géneros como *Ganoderma*, *Hericium*, *Lentinula*, *Flammulina*, etc. (imagen propia).

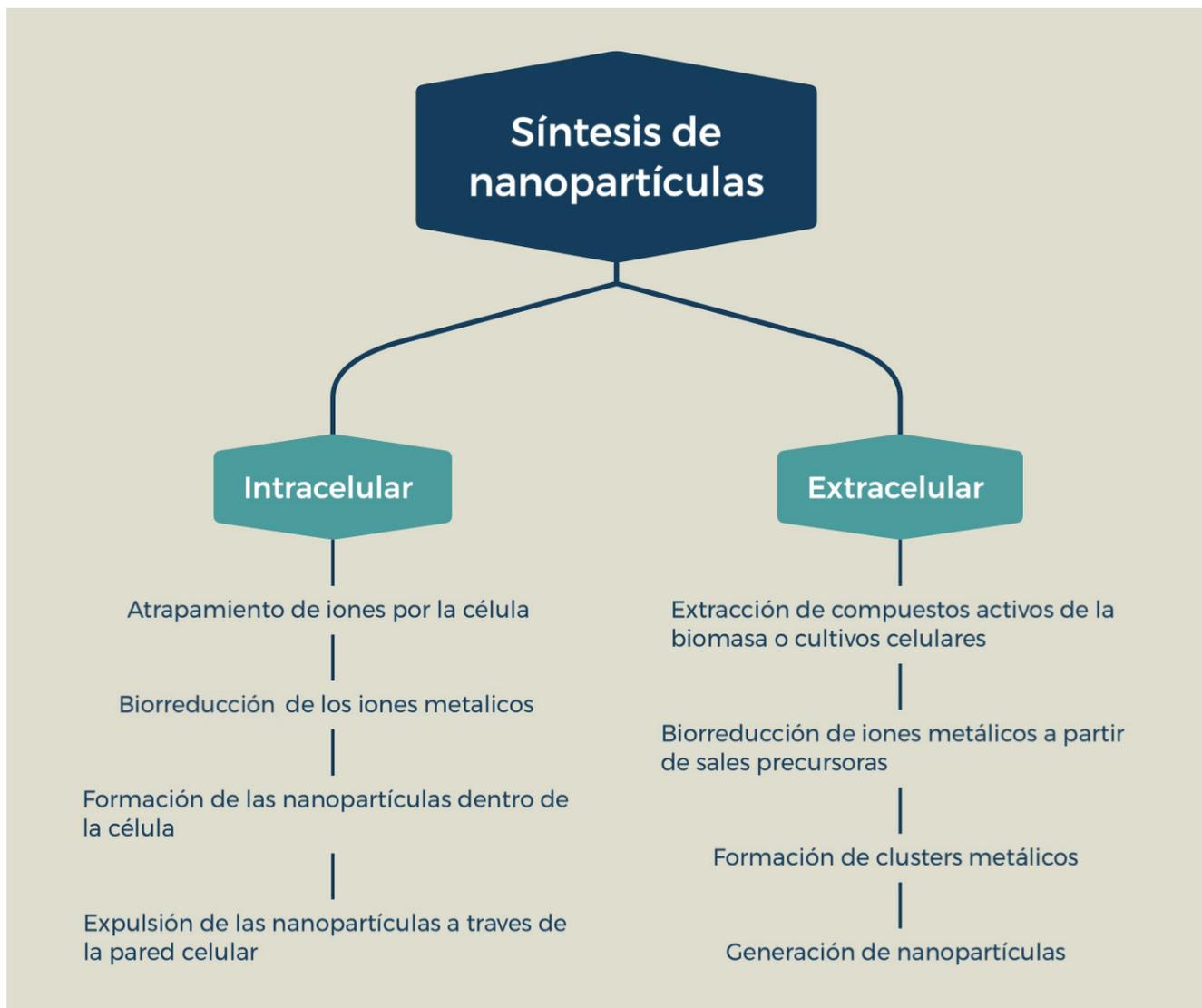


Figura 2. Esquema de tipos de biosíntesis de nanopartículas (elaboración propia).

nanopartículas fuera de la célula [3]. La síntesis intracelular tiene la ventaja de permitir un mayor control sobre el tamaño y la morfología de las nanopartículas, pero puede ser más difícil de escalar. Por otro lado, la síntesis extracelular es más sencilla de implementar en aplicaciones industriales, aunque puede requerir una mayor cantidad de material fúngico. Ambas estrategias presentan desafíos y oportunidades, lo que subraya la necesidad de una selección cuidadosa del método según la aplicación deseada.

Entre las diversas especies de hongos investigadas para la síntesis de nanopartículas, *Aspergillus*, *Penicillium* y *Trichoderma* han ocupado un lugar central [4, 5, 6]. Estos hongos han demostrado capacidades notables para generar nanopartículas metálicas, como plata, oro y cobre, debido a su capacidad para

secretar enzimas y moléculas bioactivas que desempeñan un papel crucial en la reducción y estabilización de iones metálicos durante la formación de nanopartículas. Esta síntesis biológica personalizada, donde no se modifica el hongo en sí, pero se manipulan las condiciones en las que se desarrolla el proceso de síntesis para obtener nanopartículas con características deseadas, permite la producción de nanopartículas con formas, tamaños y propiedades superficiales bien definidas, mejorando su aplicabilidad en diversos campos.

Para confirmar la síntesis de las nanopartículas, se utilizan diversas estrategias analíticas. Un método común es observar el cambio de color en la suspensión durante la reacción, lo cual indica la formación de nanopartículas. Además, se emplean técnicas como la espectroscopía ultravioleta-visible (UV-Vis), que per-

mite seguir el desarrollo de las propiedades ópticas características de las nanopartículas metálicas. La microscopía electrónica de transmisión (TEM) proporciona imágenes detalladas de su morfología y tamaño. Estas técnicas permiten una caracterización precisa de las nanopartículas sintetizadas y son esenciales para validar la eficiencia y reproducibilidad del proceso de síntesis [7].

En particular, las nanopartículas metálicas producidas mediante síntesis mediada por hongos son muy prometedoras. Las nanopartículas de plata, por ejemplo, exhiben propiedades antimicrobianas, lo que las hace valiosas en aplicaciones médicas. Las nanopartículas de oro, con sus propiedades ópticas y catalíticas únicas, encuentran utilidad en campos como la detección de enfermedades. Las nanopartículas de cobre poseen una excelente conductividad, lo que allana el camino para aplicaciones en electrónica. La capacidad de los hongos para facilitar la síntesis de estas nanopartículas metálicas con atributos específicos amplía las posibilidades de materiales personalizados en diversas industrias.

Explorar la relación simbiótica entre hongos y plantas revela aspectos fascinantes en la síntesis de nanopartículas. En particular, la sim-

biosis micorrízica es una asociación mutualista en la que los hongos micorrízicos se conectan con las raíces de las plantas, facilitando el intercambio de nutrientes esenciales. Entre los géneros más comunes de hongos micorrízicos se encuentran *Boletus*, *Russula*, *Suillus*, *Cortinarius* y *Pisolithus*, los cuales también han mostrado potencial en la síntesis de nanopartículas. Aunque las especies del género *Ganoderma* no forman parte de las micorrizas, desempeñan un papel relevante en la biosíntesis de nanopartículas. Estos hongos, mostrados en la Figura 3, actúan como nanofábricas naturales, utilizando sus redes de hifas para facilitar la reducción de iones metálicos y la formación de nanopartículas metálicas. La multifuncionalidad de los hongos, ya sean micorrízicos o no, destaca su capacidad para participar en procesos biotecnológicos complejos, incluidos los procesos de biosíntesis de nanopartículas.

Para optimizar y perfeccionar estas nanofábricas naturales, es necesario comprender los mecanismos subyacentes de la biosíntesis de nanopartículas utilizando extractos de hongos. En algunas investigaciones se ha destacado el papel fundamental de las enzimas fúngicas, en particular las reductasas, en la reducción de iones metálicos para formar nanopartículas. Más allá de la participación enzimática, se han identificado proteínas y metabolitos extracelulares como factores influyentes que dan forma al tamaño, la morfología y la estabilidad de las nanopartículas resultantes [8]. Esta comprensión matizada de los procesos bioquímicos de los hongos muestra vías alternas para que los investigadores mejoren las características de las nanopartículas, atendiendo a las necesidades actuales y participando de la innovación y el desarrollo tecnológico. Una posible forma de mejorar las características de las nanopartículas es mediante la manipulación genética de los hongos para aumentar la expresión de enzimas clave, como las reductasas, o para producir proteínas y metabo-



Figura 3. *Ganoderma australe* (imagen propia).

litos extracelulares específicos que influyen favorablemente en el tamaño y la morfología de las nanopartículas. Además, el ajuste de las condiciones de cultivo, como el pH, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes, podría optimizar la producción de nanopartículas con propiedades específicas. Explorar la co-cultivación de diferentes especies de hongos también podría generar interacciones sinérgicas, resultando en nanopartículas con características mejoradas. Estas estrategias no solo permitirían la adaptación de las nanopartículas a necesidades actuales, sino que también impulsarían la innovación y el desarrollo tecnológico en este campo emergente.

Entre las innumerables aplicaciones que se le pueden dar a las nanopartículas sintetizadas a partir de hongos, destaca la posibilidad de utilizar éstas como agentes antibacterianos, como se muestra en la Ilustración 4, además existen diversos reportes de que pueden servir de transportadores y sistemas de administración de fármacos. Es importante destacar que la citotoxicidad de las nanopartículas depende de varios factores, incluidos su tamaño, concentración, superficie y método de síntesis. La síntesis de nanopartículas mediada por hongos podría ofrecer ventajas, como una mejor biocompatibilidad y menor toxicidad, gracias a la presencia de proteínas y metabolitos fúngicos que pueden modificar la superficie de las nanopartículas, mejorando su perfil de seguridad. Además, es crucial que futuras investigaciones se enfoquen en optimizar estos parámetros para minimizar los efectos adversos y maximizar los beneficios terapéuticos de las nanopartículas en aplicaciones médicas, incluidas las de administración de fármacos. Estos sistemas de transporte tienen el potencial de revolucionar los enfoques farmacéuticos, mejorando la eficacia de los medicamentos y mitigando los efectos secundarios. Las características únicas de las nanopartículas sintetizadas por hongos, influenciadas por su entorno natural, las convierten en candidatos prometedores para el avance de las tecnologías de administración de fármacos. Además de las nanopartículas me-

tálicas, los hongos también pueden sintetizar otros tipos de nanopartículas, como las nanopartículas de óxidos metálicos (por ejemplo, óxido de zinc) y las nanopartículas de carbono (como los puntos cuánticos de carbono), que han demostrado propiedades excepcionales para la administración de fármacos debido a su biocompatibilidad, capacidad de carga y versatilidad funcional. Estos ejemplos amplían el espectro de aplicaciones potenciales, permitiendo que las nanopartículas fungo-mediadas sean exploradas en una variedad de contextos terapéuticos y tecnológicos.

Además, la notable adaptabilidad de los hongos a diversas condiciones ambientales los posiciona como activos invaluable para los esfuerzos de biorremediación. Los investigadores están explorando activamente la aplicación de hongos para remediar sitios contaminados con metales pesados, presentando un enfoque ecológico y sostenible para la restauración ambiental. Esta intersección de la nanotecnología y las ciencias ambientales es prometedora para abordar los desafíos contemporáneos y fomentar soluciones innovadoras para un futuro sostenible.

Si bien el impacto de las nanopartículas biofabricadas a partir de hongos es prometedor, persisten innumerables desafíos en el camino hacia aplicaciones prácticas generalizadas. Lograr reproducibilidad y escalabilidad es fundamental para aprovechar los beneficios de la síntesis de nanopartículas fúngicas en diversas industrias, en conjunto con los procesos biológicos involucrados en la síntesis mediada por hongos, lo cual exige un control meticuloso para garantizar resultados consistentes. Los investigadores se enfrentan al reto de desarrollar métodos y protocolos estandarizados que puedan aplicarse universalmente y garantizar una producción fiable y escalable de nanopartículas. La estandarización de la metodología no solo es crucial para las aplicaciones industriales sino también para facilitar los esfuerzos de colaboración dentro de la comunidad científica, promoviendo una comprensión compartida de las metodologías empleadas. Superar estos

desafíos será fundamental para aprovechar al máximo el potencial de los hongos como fuente de generación de nanoestructuras funcionales en diversos sectores.

Además, a medida que avanza el campo de la síntesis de nanopartículas fúngicas, se vuelve obligatorio profundizar en las implicaciones ecológicas de esta tecnología. Comprender cómo la síntesis de nanopartículas fúngicas interactúa con el medio ambiente es esencial para garantizar una implementación responsable y sostenible. Los hongos desempeñan funciones vitales en los ecosistemas, y su uso como fábricas de nanopartículas puede introducir elementos novedosos en los sistemas naturales. Los investigadores deben buscar los posibles impactos ecológicos, considerando factores como la liberación de nanopartículas en el suelo o los sistemas hídricos. Una evaluación ecológica integral informará el desarrollo de directrices y mejores prácticas para minimizar cualquier efecto adverso en los ecosistemas. Lograr un equilibrio entre aprovechar los beneficios de la síntesis de nanopartículas fúngicas y salvaguardar la integridad ambiental es

crucial para la evolución ética y sostenible de esta tecnología innovadora. **iBIO**

Referencias

- [1] Owaid, M. N., & Ibraheem, I. J. (2017). Mycosynthesis of nanoparticles using edible and medicinal mushrooms. *European Journal of Nanomedicine* (Vol. 9, Issue 1, pp. 5–23). Walter de Gruyter GmbH. <https://doi.org/10.1515/ejnm-2016-0016>
- [2] Saravanan, A., Kumar, P. S., Karishma, S., Vo, D. V. N., Jeevanantham, S., Yaashikaa, P. R., & George, C. S. (2021). A review on biosynthesis of metal nanoparticles and its environmental applications. *Chemosphere*, 264. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128580>
- [3] Rai, M., Ingle, A. P., Trzcińska-Wencel, J., Wypij, M., Bonde, S., Yadav, A., Kratošová, G., & Golińska, P. (2021). Biogenic silver nanoparticles: What we know and what do we need to know? In *Nanomaterials* (Vol. 11, Issue 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nano11112901>
- [4] Abdel-Azeem, A., Nada, A. A., O'Donovan, A., Thakur, V. K., & Elkelish, A. (2020). Mycogenic silver nanoparticles from endophytic *Trichoderma atroviride* with antimicrobial activity. *Journal of Renewable Materials*, 8(2), 171–185. <https://doi.org/10.32604/jrm.2020.08960>
- [5] Gade, A. K., Bonde, P., Ingle, A. P., Marcato, P. D., Durán, N., & Rai, M. K. (2008). Exploitation of *Aspergillus niger* for synthesis of silver nanoparticles. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 2(3), 243–247. <https://doi.org/10.1166/jbmb.2008.401>
- [6] Salem, S. S., Fouda, M. M. G., Fouda, A., Awad, M. A., Al-Olayan, E. M., Allam, A. A., & Shaheen, T. I. (2021). Antibacterial, Cytotoxicity and Larvicidal Activity of Green Synthesized Selenium Nanoparticles Using *Penicillium corylophilum*. *Journal of Cluster Science*, 32(2), 351–361. <https://doi.org/10.1007/s10876-020-01794-8>
- [7] González-Pedroza, M. G., Argueta-Figueroa, L., García-Contreras, R., Jiménez-Martínez, Y., Martínez-Martínez, E., Navarro-Marchal, S. A., Marchal, J. A., Morales-Luckie, R. A., & Boulaiz, H. (2021). Silver nanoparticles from *annona muricata* peel and leaf extracts as a potential potent, biocompatible and low cost antitumor tool. *Nanomaterials*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/nano11051273>
- [8] Duan, H., Wang, D., & Li, Y. (2015). Green chemistry for nanoparticle synthesis. *Chemical Society Reviews*, 44(16), 5778–5792. <https://doi.org/10.1039/c4cs00363b>

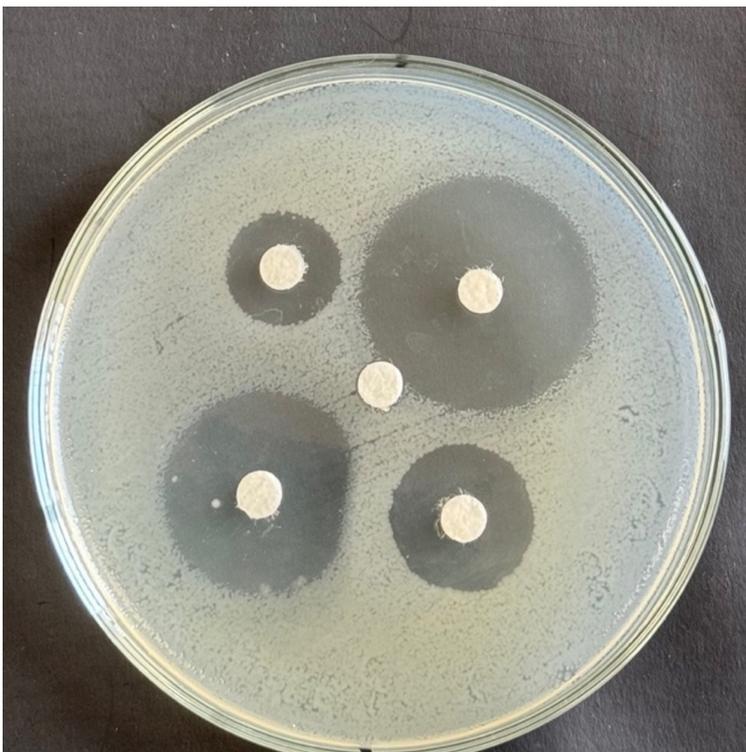


Figura 4. Efecto antibacteriano de nanopartículas de plata generadas a partir de extractos acuosos de hongos (imagen propia).